

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

29.11.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 3 月 2 9 日
Date of Application:

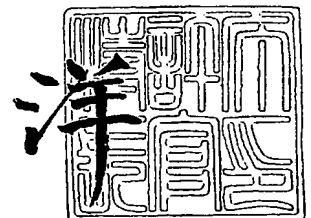
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 9 6 3 4 4
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 9 6 3 4 4]

出 願 人 河 村 能 人
Applicant(s):

2 0 0 5 年 1 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願
【整理番号】 KP3632
【提出日】 平成16年 3月29日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 C22C 23/04
C22C 23/06
【発明者】
【住所又は居所】 熊本県熊本市新南部 2 丁目 7 番 A— 3 0 2
【氏名】 河村 能人
【特許出願人】
【識別番号】 502396281
【氏名又は名称】 河村 能人
【代理人】
【識別番号】 100110858
【弁理士】
【氏名又は名称】 柳瀬 睦肇
【選任した代理人】
【識別番号】 100100413
【弁理士】
【氏名又は名称】 渡部 温
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2003-395905
【出願日】 平成15年11月26日
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 085672
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

【請求項2】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) \quad 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項3】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

$$(4) \quad 0 \leq c < 2.0$$

$$(5) \quad 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項4】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

$$(4) \quad 1 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) \quad 1 \leq d < 2.0$$

$$(6) \quad 1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$$

【請求項5】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) \quad 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a - 0.375 \leq b$$

【請求項6】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも

1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項7】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項8】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たす高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項9】

請求項1～8のいずれか一項において、前記マグネシウム合金にTh、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有する高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項10】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

【請求項11】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項12】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に塑性加工を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項13】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に塑性加工を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項14】

請求項10～13のいずれか一項において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項15】

請求項10～14のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項16】

請求項10～15のいずれか一項において、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項17】

請求項16において、前記少なくとも1種類の析出物の合計体積分率は0%超40%以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項18】

請求項10～17のいずれか一項において、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引拔及び鍛造のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高靱性マグネシウム合金。

押出し物

【請求項19】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

【請求項20】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $0 \leq c \leq 3.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項21】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $0 \leq c < 2.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項22】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であ

る高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 23】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

【請求項 24】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 25】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 26】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択され

る少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $1 \leq c \leq 3.0$

(5) $1 \leq d < 2.0$

(6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項27】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

【請求項28】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $0 \leq c \leq 3.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項29】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項30】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項31】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$

【請求項32】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項33】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも

1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $0 \leq c < 2.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項34】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $1 \leq c \leq 3.0$

(5) $1 \leq d < 2.0$

(6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項35】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

【請求項36】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 37】

Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子%含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 38】

Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子%含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (6) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 39】

Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作り、前記塑性加工物に熱処理を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5 a \leq b$

【請求項 40】

Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子%含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は

下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作り、前記塑性加工物に熱処理を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金

。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項41】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作り、前記塑性加工物に熱処理を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項42】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作り、前記塑性加工物に熱処理を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項43】

請求項39～42のいずれか一項において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項44】

請求項39～43のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項45】

請求項39～44のいずれか一項において、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項46】

請求項45において、前記少なくとも1種類の析出物の合計体積分率は0%超40%以下

である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 47】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5 a \leq b$

【請求項 48】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5 a \leq b$

(4) $0 \leq c \leq 3.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 49】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5 a \leq b$

(4) $0 \leq c < 2.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 50】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (6) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱

処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項51】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金製造物を作り、前記マグネシウム合金製造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

【請求項52】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金製造物を作り、前記マグネシウム合金製造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項53】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金製造物を作り、前記マグネシウム合金製造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

$$(4) 0 \leq c < 2.0$$

$$(5) 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項54】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.05 μm以上100 μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(4) 1 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) 1 \leq d < 2.0$$

$$(6) 1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$$

【請求項55】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行ってECAE物を作り、前記ECAE物に熱処理を行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.05 μm以上100 μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

【請求項56】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行ってECAE物を作り、前記ECAE物に熱処理を行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.05 μm以上100 μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項57】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a

、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行ってECAE物を作り、前記ECAE物に熱処理を行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $0 \leq c < 2.0$

(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項58】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行ってECAE物を作り、前記ECAE物に熱処理を行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

(4) $1 \leq c \leq 3.0$

(5) $1 \leq d < 2.0$

(6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項59】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

(1) $0.5 \leq a \leq 5.0$

(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$

(3) $0.5a \leq b$

【請求項60】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 61】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 62】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (6) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 63】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に鍛造を行って鍛造物を作り、前記鍛造物に熱処理を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

【請求項 64】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行って鍛造物を作り、前記鍛造物に熱処理を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項65】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行って鍛造物を作り、前記鍛造物に熱処理を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項66】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行って鍛造物を作り、前記鍛造物に熱処理を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項67】

請求項10～66のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物は、Th、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有する高強度高靱

性マグネシウム合金。

【請求項 68】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting を塑性加工により固化した塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項 69】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting を塑性加工により固化した塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 70】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting を塑性加工により固化した塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 71】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm、Nd 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu 及び Mm からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (4) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting を塑性加工により固化した塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 72】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に押出しにより固化した押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

【請求項73】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に押出しにより固化した押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) 0.5 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項74】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に押出しにより固化した押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 2.0$$

$$(5) 0.5 \leq b + c \leq 6.0$$

【請求項75】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に押出しにより固化した押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、
前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項76】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に圧延により固化した圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項77】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に圧延により固化した圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項78】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に圧延により固化した圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項79】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物に圧延により固化した圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項80】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物にECAEにより固化したECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項81】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物にECAEにより固化したECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項82】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物にECAEにより固化したECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 83】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm、Nd 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu 及び Mm からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (4) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting に ECAE により固化した ECAE 物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 84】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting に引拔加工により固化した引拔加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項 85】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金 casting を作り、前記マグネシウム合金 casting を切削することによってチップ形状の casting を作り、前記 casting に引拔加工により固化した引拔加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 86】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に引抜加工により固化した引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 87】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm、Nd 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu 及び Mm からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (4) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に引抜加工により固化した引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 88】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に鍛造により固化した鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 5 % 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項 89】

Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物に鍛造により固化した鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、
前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項90】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物に鍛造により固化した鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項91】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作り、前記 casting 物に鍛造により固化した鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項92】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作る工程と、

前記マグネシウム合金 casting 物に塑性加工を行って塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$

【請求項93】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作る工程と、

1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項94】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項95】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項96】

請求項93～96のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物を作る工程と前記塑性加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成する工程をさらに具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項97】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作る工程と、

前記鑄造物に塑性加工により固化した塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【請求項 98】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、
前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作る工程と

前記鑄造物に塑性加工により固化した塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 99】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、
前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作る工程と

前記鑄造物に塑性加工により固化した塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【請求項 100】

Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、
前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作る工程と

前記鑄造物に塑性加工により固化した塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【請求項 101】

請求項 92～100のいずれか一項において、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引抜加工及び鍛造のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項102】

請求項92～100のいずれか一項において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って塑性加工物を作る工程であり、押出し温度が250℃以上500℃以下、押出しによる断面減少率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項103】

請求項92～100のいずれか一項において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って塑性加工物を作る工程であり、圧延温度が250℃以上500℃以下、圧下率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項104】

請求項92～100のいずれか一項において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行って塑性加工物を作る工程であり、前記ECAEを行う際の温度が250℃以上500℃以下、ECAEのパス回数が1パス以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項105】

請求項92～100のいずれか一項において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項106】

請求項92～100のいずれか一項において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行って鍛造物を作る工程であり、前記鍛造を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記鍛造の加工率が5%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項107】

請求項92～100のいずれか一項のいずれか一項において、前記塑性加工物を作る工程の後に、前記塑性加工物に熱処理を行う工程をさらに具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項108】

請求項107において、前記塑性加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は400℃以上550℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項109】

請求項92～108のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物は、Th、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法に関し、より詳細には特定の希土類元素を特定割合で含有することにより高強度高靱性を達成した高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

マグネシウム合金は、そのリサイクル性とあいまって、携帯電話やノート型パソコンの筐体あるいは自動車用部品として急速に普及し始めている。

これらの用途に使用するためにはマグネシウム合金に高強度と高靱性が要求される。高強度高靱性マグネシウム合金の製造のために従来から材料面及び製法面から種々検討されている。

製法面では、ナノ結晶化の促進のために、急凝固粉末冶金（R S-P/M）法が開発され、鑄造材の約2倍の400MPa程度の強度のマグネシウム合金が得られるようになった。

【0003】

マグネシウム合金として、Mg-Al系、Mg-Al-Zn系、Mg-Th-Zn系、Mg-Th-Zn-Zr系、Mg-Zn-Zr系、Mg-Zn-Zr-RE（希土類元素）系等の成分系の合金が知られている。これらの組成を有するマグネシウム合金を鑄造法で製造しても十分な強度が得られない。前記組成を有するマグネシウム合金を前記R S-P/M法で製造すると鑄造法で製造する場合より高強度にはなるが依然として強度が不十分であったり、強度が十分でも靱性（延性）が不十分で、高強度及び高靱性を要求される用途には使用し難いという欠点があった。

これらの高強度及び高靱性を有するマグネシウム合金として、Mg-Zn-RE（希土類元素）系合金が提案されている（例えば特許文献1、2及び3）。

【0004】

【特許文献1】特許3238516号公報（図1）

【特許文献2】特許2807374号公報

【特許文献3】特開2002-256370号公報（特許請求の範囲、実施例）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来のMg-Zn-RE系合金では、例えばアモルファス状の合金材料を熱処理し、微細結晶化して高強度のマグネシウム合金を得ている。そして前記アモルファス状の合金材料を得るためには相当量の亜鉛と希土類元素が必要であるという先入観があり、亜鉛と希土類元素を比較的多量に含有するマグネシウム合金が使用されている。

【0006】

特許文献1及び2では高強度及び高靱性が得られたと記載されているが、実際に強度及び靱性ともに実用に供するレベルに達している合金は殆ど無い。更に現在ではマグネシウム合金の用途が拡大して、従来の強度及び靱性では不十分で、より以上の強度及び靱性を有するマグネシウム合金が要請されている。

【0007】

本発明は上記のような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原

子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすもの、より好ましくは下記式(1')～(3')である。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

【0009】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0010】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすもの、より好ましくは下記式(1')～(5')である。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0011】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすもの、より好ましくは下記式(1')～(5')である。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c < 2.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0012】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(

1) ~ (6) を満たすもの、より好ましくは下記式 (1') ~ (6') を満たすものである。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $1 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1 \leq d < 2.0$
- (6') $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

尚、Mm (ミッシュメタル) とは、Ce 及び La を主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素である Sm や Nd などを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存する。

【0013】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすものである。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

尚、上記高強度高靱性マグネシウム合金はチップ材として用いることが好ましい。

【0014】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすものである。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

尚、上記高強度高靱性マグネシウム合金はチップ材として用いることが好ましい。

【0015】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Zn を a 原子% 含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子% 含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子% 含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5) を満たすものである。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

尚、上記高強度高靱性マグネシウム合金はチップ材として用いることが好ましい。

【0016】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすものである。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

尚、上記高強度高靱性マグネシウム合金はチップ材として用いることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記マグネシウム合金にTh、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有することも可能である。これにより、高強度高靱性を維持したまま、他の性質を改善することができる。

【0018】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

前記Y、Dy、Ho及びErそれぞれは、前記マグネシウム合金鑄造物に長周期積層構造の結晶組織を形成する希土類元素である。

【0019】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上が好ましく、より好ましくは10%以上である。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有することも可能である。尚、前記析出物の合計体積分率は0%超40%以下であることが好ましい。また、前記塑性加工物はhcp-Mgを有する。

【0020】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引抜加工及び鍛造のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0021】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを

行った後の押し出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0022】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0023】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物にECAEを行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0024】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

【0025】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

【0026】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作り、前記塑性加工物に熱処理を行った後の塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

【0027】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上が好ましく、より好ましくは10%以上である。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有することも可能である。前記析出物の合計体積分率は0%超40%以下であることが好ましい。また、前記塑性加工物はhcp-Mgを有する。

【0028】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引拔加工及び鍛造のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0029】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残

部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0030】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0031】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行ってECAE物を作り、前記ECAE物に熱処理を行った後のECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0032】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工

を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0033】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に鍛造を行って鍛造物を作り、前記鍛造物に熱処理を行った後の鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0034】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記マグネシウム合金鑄造物は、Th、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有することも可能である。

【0035】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記塑性加工を行う前の前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成することも可能である。

【0036】

また、上述した本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、前記マグネシウム合金鑄造物の合金組成を以下のように変更することも可能である。

例えば、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)、より好ましくは下記式(1')～(5')を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

$$(1') 0.5 \leq a \leq 5.0$$

- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

前記 Yb、Tb、Sm、Nd 及び Gd それぞれは、それらと Mg と Zn の 3 元合金では、前記マグネシウム合金鑄造物に長周期積層構造の結晶組織を形成しない希土類元素であってマグネシウムに固溶限があるものである。

【0037】

また、Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子%含有し、残部が Mg から成り、a、b 及び c は下記式 (1) ~ (5)、より好ましくは下記式 (1') ~ (5') を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c < 2.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

前記 La、Ce、Pr、Eu 及び Mm それぞれは、それらと Mg と Zn の 3 元合金では、前記マグネシウム合金鑄造物に長周期積層構造の結晶組織を形成しない希土類元素であってマグネシウムに固溶限が殆ど無いものである。

【0038】

また、Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、Yb、Tb、Sm 及び Nd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で c 原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm 及び Gd からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で d 原子%含有し、残部が Mg から成り、a、b、c 及び d は下記式 (1) ~ (6) を満たすもの、より好ましくは下記式 (1') ~ (6') を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$
- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $1 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1 \leq d < 2.0$
- (6') $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0039】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Zn を a 原子%含有し、Y、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で b 原子%含有し、残部が Mg から成り、a と b は下記式 (1) ~ (3) を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前

記鑄造物を塑性加工により固化した塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【0040】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物を押出により固化した押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【0041】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物を圧延により固化した圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【0042】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物をECAEにより固化したECAE物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下である。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$

【0043】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物を引抜加工により固化した引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組

織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、前記鑄造物を鍛造により固化した鍛造物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し

、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

【0044】

また、上述した本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、前記マグネシウム合金鑄造物の合金組成を以下のように変更することも可能である。

例えば、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) 0.5 \leq b + c \leq 6.0$$

【0045】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

$$(4) 0 \leq c \leq 2.0$$

$$(5) 0.5 \leq b + c \leq 6.0$$

【0046】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
(4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0047】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0048】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)、より好ましくは下記式(1')～(3')を満たすマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行って塑性加工物を作る工程と、
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
(3) $0.5a \leq b$
(1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
(2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
(3') $0.6a \leq b < 2a + 8$

【0049】

上記の本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法によれば、マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行うことにより、塑性加工後の塑性加工物の硬さ及び降伏強度を塑性加工前の鑄造物に比べて向上させることができる。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記マグネシウム合金鑄造物を作る工程と前記塑性加工物を作る工程の間に、前記マグネシウム合金鑄造物に均質化熱処理を施す工程を追加しても良い。この際の熱処理条件は、温度が40℃～550℃、処理時間が1分～1500分であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記塑性加工物を作る工程の後に、前記塑性加工物に熱処理を施す工程を追加しても良い。この際の熱処理条件は、温度が150℃～450℃、処理時間が1分～1500分であることが好ましい。

【0050】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記マグネシウム合金鑄造物を作る工程と前記塑性加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成する工程をさらに具備することも可能である。

【0051】

また、上述した本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、前記マグネシウム合金鑄造物の合金組成を以下のように変更することも可能である。

例えば、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)、より好ましくは下記式(1')～(5')を満たすマグネシウム合金鑄造物に変更する。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
(2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
(3) $0.5a \leq b$
(4) $0 \leq c \leq 3.0$
(5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$
(1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
(2') $1.0 \leq b \leq 5.0$

$$(3') \quad 0.6a \leq b < 2a + 8$$

$$(4') \quad 0 \leq c \leq 3.0$$

$$(5') \quad 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【0052】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)、より好ましくは下記式(1')～(5')を満たすマグネシウム合金 casting 物に変更する。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

$$(4) \quad 0 \leq c < 2.0$$

$$(5) \quad 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

$$(1') \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') \quad 0.6a \leq b < 2a + 8$$

$$(4') \quad 0 \leq c < 2.0$$

$$(5') \quad 1.0 \leq b + c \leq 6.0$$

【0053】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすもの、より好ましくは下記式(1')～(6')を満たすマグネシウム合金 casting 物に変更する。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

$$(4) \quad 1 \leq c \leq 3.0$$

$$(5) \quad 1 \leq d < 2.0$$

$$(6) \quad 1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$$

$$(1') \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') \quad 0.6a \leq b < 2a + 8$$

$$(4') \quad 1 \leq c \leq 3.0$$

$$(5') \quad 1 \leq d < 2.0$$

$$(6') \quad 1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$$

【0054】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすマグネシウム合金 casting 物を作る工程と、

前記マグネシウム合金 casting 物を切削することによってチップ形状の casting 物を作る工程と、

前記 casting 物を塑性加工により固化した塑性加工物を作る工程と、
を具備する。

$$(1) \quad 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a - 0.375 \leq b$$

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記鋳造物を作る工程と前記塑性加工物を作る工程の間に、前記鋳造物に均質化熱処理を施す工程を追加しても良い。この際の熱処理条件は、温度が $400^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$ 、処理時間が1分～1500分であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記塑性加工物を作る工程の後に、前記鋳造物に熱処理を施す工程を追加しても良い。この際の熱処理条件は、温度が $150^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 、処理時間が1分～1500分であることが好ましい。

【0055】

また、上述した本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、前記マグネシウム合金鋳造物の合金組成を以下のように変更することも可能である。

例えば、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鋳造物に変更する。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【0056】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、残部がMgから成り、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすマグネシウム合金鋳造物に変更する。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【0057】

また、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でc原子%含有し、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でd原子%含有し、残部がMgから成り、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすマグネシウム合金鋳造物に変更する。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0058】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引抜加工及び鍛造のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。つまり、前記塑性加工は、圧延、押出し、ECAE、引抜加工及び鍛造のうち単独でも組み合わせでも可能である。

【0059】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鋳造物を押出しにより固化した塑性加工物を作る工程であり、押出し温度が 250°C 以上 500°C 以下、押出しによる断面減少率が

5%以上であることも可能である。

【0060】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物を圧延により固化した塑性加工物を作る工程であり、圧延温度が250℃以上500℃以下、圧下率が5%以上であることも可能である。

【0061】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物をE C A Eにより固化した塑性加工物を作る工程であり、前記E C A Eを行う際の温度が250℃以上500℃以下、E C A Eのパス回数が1パス以上であることも可能である。

【0062】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物を引抜加工により固化した引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が5%以上であることも可能である。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工を行って塑性加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物を鍛造により固化した鍛造物を作る工程であり、前記鍛造を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記鍛造の加工率が5%以上であることも可能である。

【0063】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記塑性加工物を作る工程の後に、前記塑性加工物に熱処理を行う工程をさらに具備することも可能である。これにより、熱処理後の塑性加工物の硬さ及び降伏強度を熱処理前に比べてさらに向上させることができる。

【0064】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記塑性加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は150℃以上450℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下であることが好ましい。

【0065】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記マグネシウム合金鑄造物は、Th、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有することも可能である。

【発明の効果】

【0066】

以上説明したように本発明によれば、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための形態】

【0067】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本発明者は、基本に立ち返り、2元マグネシウム合金から始めて合金の強度及び靱性を検討し、更にその検討を多元マグネシウム合金まで拡大した。その結果、強度及び靱性とも高いレベルで有するマグネシウム合金はMg-Zn-RE（希土類元素）系であり、希土類元素がY、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素であるマグネシウム合金であり、更に従来技術とは異なり亜鉛の含有量が5.0原子%以下で希土類元素の含有量が5.0原子%以下という低含有量において従来にない高強度及び高靱性が得られることを見出した。

【0068】

長周期積層構造が形成される鑄造合金は、塑性加工後あるいは塑性加工後に熱処理を施すことによって、高強度・高延性・高靱性のマグネシウム合金が得られることが分かった。また、長周期積層構造が形成されて、塑性加工後あるいは塑性加工熱処理後に高強度・高延性・高靱性が得られる合金組成を見出した。

【0069】

また、長周期積層構造が形成される鑄造合金を切削することによってチップ形状の鑄造物を作り、この鑄造物に塑性加工を行い、あるいは塑性加工後に熱処理を施すことによって、チップ形状に切削する工程を行わない場合に比べて、より高強度・高延性・高靱性のマグネシウム合金が得られることが分かった。また、長周期積層構造が形成されて、チップ形状に切削し、塑性加工後あるいは塑性加工熱処理後に高強度・高延性・高靱性が得られる合金組成を見出した。

【0070】

(実施の形態1)

本発明の実施の形態1によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む3元又は4元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0071】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は図8に示すA-B-C-D-Eの線で囲む範囲である。すなわち、亜鉛の含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計でb原子%とすると、aとbは下記式(1)～(3)を満たすものとなる。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

【0072】

亜鉛の含有量が5原子%以上であると、特に靱性(又は延性)が低下する傾向があるからである。また1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以上であると、特に靱性(又は延性)が低下する傾向があるからである。

【0073】

また亜鉛の含有量が0.5原子%未満、又は希土類元素の含有量が合計で1.0原子%未満であると強度及び靱性の少なくともいずれかが不十分になる。従って、亜鉛の含有量の下限を0.5原子%とし、希土類元素の合計含有量の下限を1.0原子%とする。

【0074】

強度及び靱性の増大は亜鉛が0.5～1.5原子%において顕著になる。亜鉛含有量が0.5原子%付近において希土類元素含有量が少なくなると強度が低下する傾向があるが、その範囲の場合でも従来よりも高強度及び高靱性を示す。従って、本実施の形態のマグネシウム合金における亜鉛の含有量の範囲は最も広くて0.5原子%以上5.0原子%以下である。

【0075】

本実施の形態のMg-Zn-RE系マグネシウム合金では、前述した範囲の含有量を有する亜鉛と希土類元素以外の成分がマグネシウムとなるが、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

また、前記マグネシウム合金の組成範囲を上記式(1)～(3)を満たすものとしているが、より好ましい組成範囲としては下記式(1')～(3')を満たすものである。

$$(1') \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2') \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3') \quad 0.6a \leq b < 2a + 8$$

【0076】

(実施の形態2)

本発明の実施の形態2によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素

を含む4元又は5元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0077】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の合計含有量をb原子%とし、1又は2以上の第4元素の合計含有量をc原子%とすると、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすものとなる。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0078】

亜鉛の含有量を5原子%以上とする理由、1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以下とする理由、亜鉛の含有量が0.5原子%以上とする理由、希土類元素の含有量が合計で1.0原子%以上とする理由は、実施の形態1と同様である。また、第4元素の含有量の上限を3.0原子%とした理由は、第4元素の固溶限が低いからである。

【0079】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

また、前記マグネシウム合金の組成範囲を上記式(1)～(5)を満たすものとしているが、より好ましい組成範囲としては下記式(1')～(5')を満たすものである。

- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0080】

(実施の形態3)

本発明の実施の形態3によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む4元又は5元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される1又は2以上の元素である。尚、Mm(ミッシュメタル)とは、Ce及びLaを主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素であるSmやNdなどを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存するものである。

【0081】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量をb原子%とし、1又は2以上の第4元素の含有量を合計でc原子%とすると、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすものとなる。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $0 \leq c < 2.0$
- (5) $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0082】

亜鉛の含有量を5原子%以上とする理由、1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以下とする理由、亜鉛の含有量が0.5原子%以上とする理由、希土類元素の含有量が合計で1.0原子%以上とする理由は、実施の形態1と同様である。また、第4元素の含有量の上限を1.0原子%とした主な理由は、第4元素の固溶限が殆ど無いからで

ある。

【0083】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

また、前記マグネシウム合金の組成範囲を上記式(1)～(5)を満たすものとしているが、より好ましい組成範囲としては下記式(1')～(5')を満たすものである。

- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $0 \leq c < 2.0$
- (5') $1.0 \leq b + c \leq 6.0$

【0084】

(実施の形態4)

本発明の実施の形態3によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む5元又は6元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第5元素は、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0085】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の合計含有量をb原子%とし、1又は2以上の第4元素の含有量を合計でc原子%とし、1又は2以上の第5元素の含有量を合計でd原子%とすると、a、b、c及びdは下記式(1)～(6)を満たすものとなる。

- (1) $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2) $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a \leq b$
- (4) $1 \leq c \leq 3.0$
- (5) $1 \leq d < 2.0$
- (6) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0086】

亜鉛、希土類元素、第4元素及び第5元素の合計含有量を6.0原子%以下とする理由は、6%を超えると重くなり、原料コストが高くなり、さらに靱性が低下するからである。亜鉛、希土類元素、第4元素及び第5元素の合計含有量を1.0原子%以上とする理由は、1%未満とすると強度が不十分となるからである。

【0087】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

また、前記マグネシウム合金の組成範囲を上記式(1)～(6)を満たすものとしているが、より好ましい組成範囲としては下記式(1')～(6')を満たすものである。

- (1') $0.5 \leq a \leq 5.0$
- (2') $1.0 \leq b \leq 5.0$
- (3') $0.6a \leq b < 2a + 8$
- (4') $1 \leq c \leq 3.0$
- (5') $1 \leq d < 2.0$
- (6') $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0088】

(実施の形態5)

本発明の実施の形態5によるマグネシウム合金としては、実施の形態1～4の組成にMeを加えたマグネシウム合金が挙げられる。但し、MeはTh、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも

1種の元素である。このMeの含有量は0原子%超2.5原子%以下とする。Meを添加すると、高強度高靱性を維持したまま、他の性質を改善することができる。例えば、耐食性や結晶粒微細化などに効果がある。

【0089】

(実施の形態6)

本発明の実施の形態6によるマグネシウム合金の製造方法について説明する。

実施の形態1～5のいずれかの組成からなるマグネシウム合金を溶解して鑄造し、マグネシウム合金鑄造物を作る。鑄造時の冷却速度は1000K/秒以下であり、より好ましくは100K/秒以下である。このマグネシウム合金鑄造物としては、インゴットから所定形状に切り出したものを用いる。

次いで、マグネシウム合金鑄造物に均質化熱処理を施しても良い。この際の熱処理条件は、温度が400℃～550℃、処理時間が1分～1500分(又は24時間)とすることが好ましい。

【0090】

次に、前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行う。この塑性加工の方法としては、例えば押出し、ECAE(equal-channel-angular-extrusion)加工法、圧延、引拔及び鍛造を用いる。

押出しによる塑性加工を行う場合は、押出し温度を250℃以上500℃以下とし、押出しによる断面減少率を5%以上とすることが好ましい。

【0091】

ECAE加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90°ずつ回転させる方法である。具体的には、断面形状がL字状の成形孔を形成した成形用ダイの前記成形孔に、成形用材料であるマグネシウム合金鑄造物を強制的に進入させて、特にL状成形孔の90°に曲げられた部分で前記マグネシウム合金鑄造物に応力を加えて強度及び靱性が優れた成形体を得る方法である。ECAEのパス回数としては1～8パスが好ましい。より好ましくは3～5パスである。ECAEの加工時の温度は250℃以上500℃以下が好ましい。

【0092】

圧延による塑性加工を行う場合は、圧延温度を250℃以上500℃以下とし、圧下率を5%以上とすることが好ましい。

【0093】

引拔加工による塑性加工を行う場合は、引拔加工を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記引拔加工の断面減少率が5%以上であることが好ましい。

鍛造による塑性加工を行う場合は、鍛造加工を行う際の温度が250℃以上500℃以下、前記鍛造加工の加工率が5%以上であることが好ましい。

【0094】

上記のようにマグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行った塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上(より好ましくは10%以上)となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は0.05μm以上100μm以下である。また、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有していても良い。前記析出物の合計体積分率は0%超40%以下であることが好ましい。また、前記塑性加工物はhcp-Mgを有する。前記塑性加工を行った後の塑性加工物については、塑性加工を行う前の鑄造物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。

【0095】

前記マグネシウム合金鑄造物に塑性加工を行った後の塑性加工物に熱処理を施しても良い。この熱処理条件は、温度が400℃～550℃、熱処理時間が1分～1500分(又は24時間)とすることが好ましい。この熱処理を行った後の塑性加工物については、熱処理を行う前の塑性加工物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。また

、熱処理後の塑性加工物にも熱処理前と同様に、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は5%以上（より好ましくは10%以上）となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である。また、前記塑性加工物は、Mgと希土類元素の化合物、MgとZnの化合物、Znと希土類元素の化合物及びMgとZnと希土類元素の化合物からなる析出物群から選択される少なくとも1種類の析出物を有していても良い。前記析出物の合計体積分率は0%超40%以下であることが好ましい。また、前記塑性加工物はhcp-Mgを有する。

【0096】

上記実施の形態1～6によれば、マグネシウム合金の拡大した用途、例えば強度及び韧性共に高性能が要求されるハイク用合金としての用途に対して、強度及び韧性ともに実用に供するレベルにある高強度高韧性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【0097】

(実施の形態7)

本発明の実施の形態7によるマグネシウム合金は、鋳造物を切削することによって作られた複数の数mm角以下のチップ形状鋳造物に適用するものであり、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む3元又は4元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0098】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は図9に示すA-B-C-D-Eの線で囲む範囲である。すなわち、亜鉛の含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計でb原子%とすると、aとbは下記式(1)～(3)を満たすものとなる。

$$(1) 0.25 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) 0.5 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) 0.5a - 0.375 \leq b$$

【0099】

亜鉛の含有量が5原子%以上であると、特に韧性（又は延性）が低下する傾向があるからである。また1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以上であると、特に韧性（又は延性）が低下する傾向があるからである。

【0100】

また亜鉛の含有量が0.25原子%未満、又は希土類元素の含有量が合計で0.5原子%未満であると強度及び韧性の少なくともいずれかが不十分になる。従って、亜鉛の含有量の下限を0.25原子%とし、希土類元素の合計含有量の下限を0.5原子%とする。このように亜鉛の含有量及び希土類元素の合計含有量それぞれの下限を実施の形態1に比べて低くできるのは、チップ形状鋳造物に適用するからである。

【0101】

強度及び韧性の増大は亜鉛が0.5～1.5原子%において顕著になる。亜鉛含有量が0.5原子%付近において希土類元素含有量が少なくなると強度が低下する傾向があるが、その範囲の場合でも従来よりも高強度及び高韧性を示す。従って、本実施の形態のマグネシウム合金における亜鉛の含有量の範囲は最も広くて0.25原子%以上5.0原子%以下である。

【0102】

本実施の形態のMg-Zn-RE系マグネシウム合金では、前述した範囲の含有量を有する亜鉛と希土類元素以外の成分がマグネシウムとなるが、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

【0103】

(実施の形態8)

本発明の実施の形態8によるマグネシウム合金は、鋳造物を切削することによって作られた複数の数mm角以下のチップ形状鋳造物に適用するものであり、基本的にMg、Zn

、Y及び希土類元素を含む4元又は5元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、Yb、Tb、Sm及びNdからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0104】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計でb原子%とし、1又は2以上の第4元素の含有量を合計でc原子%とすると、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすものとなる。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 3.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【0105】

亜鉛の含有量を5原子%以下とする理由、1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以下とする理由、亜鉛の含有量が0.25原子%以上とする理由、希土類元素の含有量が合計で0.5原子%以上とする理由は、実施の形態7と同様である。また、第4元素の含有量の上限を3.0原子%とした理由は、第4元素の固溶限が低いからである。

【0106】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

【0107】

(実施の形態9)

本発明の実施の形態9によるマグネシウム合金は、鋳造物を切削することによって作られた複数の数mm角以下のチップ形状鋳造物に適用するものであり、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む4元又は5元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、La、Ce、Pr、Eu、Mm及びGdからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0108】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計でb原子%とし、1又は2以上の第4元素の含有量を合計でc原子%とすると、a、b及びcは下記式(1)～(5)を満たすものとなる。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $0 \leq c \leq 2.0$
- (5) $0.5 \leq b + c \leq 6.0$

【0109】

亜鉛の含有量を5原子%以下とする理由、1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で5原子%以下とする理由、亜鉛の含有量が0.1原子%以上とする理由、希土類元素の含有量が合計で0.5原子%以上とする理由は、実施の形態7と同様である。また、第4元素の含有量の上限を2.0原子%とした理由は、第4元素の固溶限が殆ど無いからである。

【0110】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

【0111】

(実施の形態10)

本発明の実施の形態10によるマグネシウム合金は、鋳造物を切削することによって作

られた複数の数mm角以下のチップ形状鋳造物に適用するものであり、基本的にMg、Zn及び希土類元素を含む5元又は6元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第4元素は、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdからなる群から選択される1又は2以上の元素であり、第5元素は、La、Ce、Pr、Eu及びMmからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

【0112】

本実施の形態によるマグネシウム合金の組成範囲は、Znの含有量をa原子%とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計でb原子%とし、1又は2以上の第4元素の含有量を合計でc原子%とし、1又は2以上の第5元素の含有量を合計でd原子%とすると、a、b、c及びdは下記式(1)～(4)を満たすものとなる。

- (1) $0.25 \leq a \leq 5.0$
- (2) $0.5 \leq b \leq 5.0$
- (3) $0.5a - 0.375 \leq b$
- (4) $1.0 \leq b + c + d \leq 6.0$

【0113】

亜鉛、希土類元素、第4元素及び第5元素の合計含有量を6.0原子%未満とする理由、亜鉛、希土類元素、第4元素及び第5元素の合計含有量を1.0原子%超とする理由は、実施の形態4と同様である。

【0114】

本実施の形態のMg-Zn-Y-RE系マグネシウム合金においても、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

【0115】

(実施の形態11)

本発明の実施の形態11によるマグネシウム合金としては、実施の形態7～10の組成にMeを加えたマグネシウム合金が挙げられる。但し、MeはTh、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc、B及びCからなる群から選択される少なくとも1種の元素である。このMeの含有量は0原子%超2.5原子%以下とする。Meを添加すると、高強度高靱性を維持したまま、他の性質を改善することができる。例えば、耐食性や結晶粒微細化などに効果がある。

【0116】

(実施の形態12)

本発明の実施の形態12によるマグネシウム合金の製造方法について説明する。

実施の形態7～11のいずれかの組成からなるマグネシウム合金を溶解して鋳造し、マグネシウム合金鋳造物を作る。鋳造時の冷却速度は1000K/秒以下であり、より好ましくは100K/秒以下である。このマグネシウム合金鋳造物としては、インゴットから所定形状に切り出したものを用いる。

次いで、マグネシウム合金鋳造物に均質化熱処理を施しても良い。この際の熱処理条件は、温度が400℃～550℃、処理時間が1分～1500分(又は24時間)とすることが好ましい。

次いで、このマグネシウム合金鋳造物を切削することによって複数の数mm角以下のチップ形状鋳造物を作製する。

次いで、チップ形状鋳造物を圧縮又は塑性加工法的手段を用いて予備成形し、均質化熱処理を施しても良い。この際の熱処理条件は、温度が400℃～550℃、処理時間が1分～1500分(又は24時間)とすることが好ましい。また、前記予備成形した成形物に、150℃～450℃の温度で1分～1500分(又は24時間)の熱処理を施しても良い。

チップ形状の鋳造物は例えばチクソーモールドの原料に一般的に用いられている。

尚、チップ形状鋳造物とセラミック粒子とを混合したものを圧縮又は塑性加工法的手段を用いて予備成形し、均質化熱処理を施しても良い。また、チップ形状鋳造物を予備成形

する前に、付加的に強歪加工を施しても良い。

【0117】

次に、前記チップ形状鋳造物に塑性加工を行う。この塑性加工の方法としては、実施の形態6の場合と同様に種々の方法を用いることができる。

このように塑性加工を行った塑性加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。前記塑性加工を行った後の塑性加工物については、塑性加工を行う前の鋳造物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。

【0118】

前記チップ形状鋳造物に塑性加工を行った後の塑性加工物に熱処理を施しても良い。この熱処理条件は、温度が400℃～550℃、熱処理時間が1分～1500分（又は24時間）とすることが好ましい。この熱処理を行った後の塑性加工物については、熱処理を行う前の塑性加工物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。また、熱処理後の塑性加工物にも熱処理前と同様に、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0119】

上記実施の形態12では、鋳造物を切削することによってチップ形状鋳造物を作製することにより、組織が微細化するので、実施の形態6に比べてより高強度・高延性・高靱性の塑性加工物などを作製することが可能となる。また、本実施の形態によるマグネシウム合金は実施の形態1～6によるマグネシウム合金に比べて亜鉛及び希土類元素がより低濃度であっても高強度及び高靱性の特性を得ることができる。

【0120】

上記実施の形態7～12によれば、マグネシウム合金の拡大した用途、例えば強度及び靱性共に高性能が要求されるハイテク用合金としての用途に対して、強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【実施例】

【0121】

以下、実施例について説明する。

実施例1では、97原子%Mg－1原子%Zn－2原子%Yの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0122】

実施例2では、97原子%Mg－1原子%Zn－2原子%Dyの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例3では、97原子%Mg－1原子%Zn－2原子%Hoの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例4では、97原子%Mg－1原子%Zn－2原子%Erの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0123】

実施例5では、96.5原子%Mg－1原子%Zn－1原子%Y－1.5原子%Dyの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例6では、96.5原子%Mg－1原子%Zn－1原子%Y－1.5原子%Gdの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例7では、96.5原子%Mg－1原子%Zn－1原子%Y－1.5原子%Erの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例5及び7それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素を複合的に添加したものである。また、実施例6マグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0124】

実施例8では、97.5原子%Mg－1原子%Zn－2原子%Y－0.5原子%Laの

4 元系マグネシウム合金を用いる。

実施例 9 では、97.5 原子% Mg - 0.5 原子% Zn - 1.5 原子% Y - 0.5 原子% Yb の 4 元系マグネシウム合金を用いる。

実施例 8 及び 9 それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0125】

実施例 10 では、96.5 原子% Mg - 1 原子% Zn - 1.5 原子% Y - 1 原子% Dy の 4 元系マグネシウム合金を用いる。

実施例 11 では、96.5 原子% Mg - 1 原子% Zn - 1.5 原子% Y - 1 原子% Gd の 4 元系マグネシウム合金を用いる。

実施例 12 では、96.5 原子% Mg - 1 原子% Zn - 1.5 原子% Y - 1 原子% Er の 4 元系マグネシウム合金を用いる。

実施例 13 では、96 原子% Mg - 1 原子% Zn - 3 原子% Y の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

【0126】

比較例 1 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% La の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 2 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Yb の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

【0127】

比較例 3 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Ce の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 4 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Pr の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 5 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Nd の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 6 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Sm の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 7 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Eu の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 8 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Tm の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

比較例 9 では、97 原子% Mg - 1 原子% Zn - 2 原子% Lu の 3 元系マグネシウム合金を用いる。

【0128】

参考例としては、98 原子% Mg - 2 原子% Y の 2 元系マグネシウム合金を用いる。

【0129】

(casting material の組織観察)

まず、Ar ガス雰囲気中で高周波溶解によって実施例 1 ~ 13、比較例 1 ~ 9 及び参考例それぞれの組成のインゴットを作製し、これらのインゴットから $\phi 10 \times 60$ mm の形状に切り出す。この切り出した casting material の組織観察を SEM、XRD によって行った。これらの結晶組織の写真を図 1 ~ 図 7 に示す。

【0130】

図 1 には、実施例 1 及び比較例 1、2 それぞれの結晶組織の写真が示されている。図 2 には、実施例 2 ~ 4 の結晶組織の写真が示されている。図 3 には、実施例 5 ~ 7 の結晶組織の写真が示されている。図 4 には、実施例 8、9 の結晶組織の写真が示されている。図 5 には、実施例 10 ~ 12 の結晶組織の写真が示されている。図 6 には、比較例 3 ~ 9 の結晶組織の写真が示されている。図 7 には、参考例の結晶組織の写真が示されている。図 10 には、実施例 13 の結晶組織の写真が示されている。

【0131】

図1～図5に示すように、実施例1～13のマグネシウム合金には長周期積層構造の結晶組織が形成されている。これに対し、図1、図6及び図7に示すように、比較例1～9及び参考例それぞれのマグネシウム合金は長周期積層構造の結晶組織が形成されていない。

【0132】

実施例1～13及び比較例1～9それぞれの結晶組織から以下のことが確認された。

Mg-Zn-RE3元系鋳造合金では、REがY、Dy、Ho、Erの場合に長周期積層構造が形成されるのに対し、REがLa、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Ybの場合は長周期積層構造が形成されない。Gdは、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Ybと少し挙動が異なっており、Gdの単独添加（Znは必須）では長周期積層構造は形成されないが、長周期積層構造を形成する元素であるY、Dy、Ho、Erとの複合添加では2.5原子%でも長周期積層構造が形成される（実施例6、11参照）。

また、Yb、Tb、Sm、Nd及びGdは、Mg-Zn-RE（RE=Y、Dy、Ho、Er）に添加する場合には、5.0原子%以下なら、長周期積層構造の形成を妨げない。また、La、Ce、Pr、Eu及びMmは、Mg-Zn-RE（RE=Y、Dy、Ho、Er）に添加する場合には、5.0原子%以下なら、長周期積層構造の形成を妨げない。

【0133】

比較例1の鋳造材の結晶粒径は10～30 μ m程度であり、比較例2の鋳造材の結晶粒径は30～100 μ m程度であり、実施例1の鋳造材の結晶粒径は20～60 μ mであり、いずれも粒界に多量の晶出物が観察された。また、比較例2の鋳造材の結晶組織では粒内に微細な析出物が存在していた。

【0134】

（鋳造材のビッカース硬度試験）

実施例1、比較例1及び比較例2それぞれの鋳造材をビッカース硬度試験により評価した。比較例1の鋳造材のビッカース硬度は75HVであり、比較例2の鋳造材のビッカース硬度は69HVであり、実施例1の鋳造材のビッカース硬度は79HVであった。

【0135】

（ECAE加工）

上記の実施例1及び比較例1、2それぞれの鋳造材に400℃でECAE加工を施した。ECAE加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90度ずつ回転させる方法を用いて、パス回数を4回及び8回で行った。この際の加工速度は2mm/秒の一定である。

【0136】

（ECAE加工材のビッカース硬度試験）

ECAE加工を施した試料をビッカース硬度試験により評価した。4回のECAE加工後の試料のビッカース硬度は、比較例1の試料が82HV、比較例2の試料が76HV、実施例1の試料が96HVであり、ECAE加工前の鋳造材と比較して10～20%の硬さの向上が見られた。8回のECAE加工をした試料では、4回のECAE加工をした試料とほとんど硬さに変化はなかった。

【0137】

（ECAE加工材の結晶組織）

ECAE加工を施した試料の組織観察をSEM、XRDによって行った。比較例1、2の加工材では粒界に存在していた晶出物が数 μ mオーダーに分断され、微細に均一分散しているのに対し、実施例1の加工材では晶出物は微細に分断されることなく、マトリックスと整合性を保ったまま剪断を受けているのが確認された。8回のECAE加工をした試料では、4回のECAE加工をした試料とほとんど組織に変化はなかった。

【0138】

（ECAE加工材の引張試験）

ECAE加工を施した試料を引張試験により評価した。引張試験は、押出し方向に対して平行に所期ひずみ速度 5×10^{-4} /秒の条件で行った。4回のECAE加工をした試

料の引張特性については、比較例 1、2 の試料では 200 MPa 以下の降伏応力と 2 ～ 3 % の伸びしか示さないのに対し、実施例 1 の試料では 260 MPa の降伏応力と 15 % の伸びを示した。これは、鑄造材の特性が 0.2 % 耐力 100 MPa、伸び 4 % であるのを遥かに凌駕する特性であった。

【0139】

(E C A E 加工材の熱処理)

4 回の E C A E 加工を施した試料を 225℃ で等温保持し、保持時間と硬度変化の関係を調査した。実施例 1 の試料では、225℃ の熱処理を施すことで硬さがさらに向上し、引張試験による降伏応力は 300 MPa まで向上できることがわかった。

【0140】

また、実施例 1 の鑄造材を 375℃ まで E C A E の加工温度を下げると（即ち実施例 1 の鑄造材を 400℃ ではなく 375℃ で 4 回の E C A E 加工を施すと）、実施例 1 の E C A E 加工材の降伏応力は 300 MPa と 12 % の伸びを示した。そして、この E C A E 加工を施した試料に 225℃ の熱処理を施すことにより、引張試験による降伏応力は 320 MPa まで向上できることが確認された。

【0141】

(実施例 13 の鑄造合金の押出し)

実施例 13 の鑄造合金は、長周期積層構造を持つ 96 原子% Mg - 1 原子% Zn - 3 原子% Y の 3 元系マグネシウム合金である。この鑄造合金を、温度が 300℃、断面減少率が 90%、押出し速度 2.5 mm/秒の条件で押出し加工した。この押出し後のマグネシウム合金は、室温において 420 MPa の引張降伏強度と 2 % の伸びを示した。

【0142】

(実施例 13 ～ 46 及び比較例 11 ～ 19 の鑄造合金の押出し後の特性)

表 1 ～ 3 に示す組成を有する Mg - Zn - Y 合金の鑄造材を作製し、その鑄造材に表 1 ～ 3 に示す押出し温度及び押出し比で押出し加工を行った。この押出し加工後の押出し材を、表 1 ～ 3 に示す試験温度で引張試験により 0.2 % 耐力（降伏強度）、引張強さ、伸びを測定した。また、押出し材の硬さ（ビッカース硬度）についても測定した。これらの測定結果を表 1 ～ 3 に示している。

【0143】

【表1】

Mg-Zn-Y合金

	組成 (原子%)			押出し温度 (°C)	押出し比	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HV)
	Mg	Zn	Y							
実施例 13	96	1	3	300	10	常温	420		2	
実施例 14	97.5	1	1.5	325	10	常温	—	333	0.15	
実施例 15	97.5	1	1.5	350	10	常温	364	378	1.2	
実施例 16	97.5	1	1.5	375	10	常温	363	371	1.3	
実施例 17	97.5	1	1.5	400	10	常温	352	378	2.3	
実施例 18	97	1	2	350	10	常温	375	420	4	97
実施例 19	97	1	2	400	10	常温	330	385	7	91
実施例 20	96.5	1	2.5	350	10	常温	327	398	9.0	
実施例 21	96.5	1	2.5	400	10	常温	305	382	6.1	
実施例 22	96	1	3	350	10	常温	341	429	6.6	
実施例 23	96	1	3	400	10	常温	313	46	7.2	
実施例 24	96.5	1.5	2	375	10	常温	389	396	0.7	
実施例 25	96.5	1.5	2	400	10	常温	391	434	3.2	
実施例 26	96.5	1.5	2	425	10	常温	374	419	4	
実施例 27	96	2	2	375	10	常温	407	439	2.9	
実施例 28	95.5	2.5	2	350	10	常温	408	420	2.6	
実施例 29	95.5	2.5	2	375	10	常温	399	415	3.7	
実施例 30	95.5	2.5	2	400	10	常温	377	402	5.1	

【0144】

【表 2】

Mg-Zn-Y 合金

	組成 (原子%)			押出し温度 (°C)	押出し比	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
	Mg	Zn	Y						
実施例 31	95.5	2.5	2	425	10	常温	363	388	5
実施例 32	95	2	3	350	10	常温	370	447	8.3
実施例 33	95	2	3	375	10	常温	371	451	6.5
実施例 34	95	2	3	400	10	常温	370	450	8.5
実施例 35	95	2	3	425	10	常温	366	445	7
実施例 36	94.5	2.5	3	350	10	常温	407	485	9
実施例 37	94.5	2.5	3	375	10	常温	393	475	7.5
実施例 38	94.5	2.5	3	400	10	常温	395	476	8
実施例 39	94.5	2.5	3	425	10	常温	413	481	6.5
実施例 40	94.5	2.5	3	350	2.5	常温	355	418	1
実施例 41	94.5	2.5	3	350	5	常温	415	472	0.5
実施例 42	94	3	3	450	10	常温	430	487	7.5
実施例 43	93.5	3.5	3	350	10	常温	425	490	7.5
実施例 44	94	2.5	3.5	450	10	常温	360	442	9
実施例 45	93.5	3	3.5	450	10	常温	440	492	6
実施例 46	93.5	2.5	4	450	10	常温	370	450	6
比較例 11	97	1	2	350	1	常温	77	100	1.5

* 押出し比 1 は 1 GPa でのホットプレス材を示す

【0145】

【表 3】

Mg-Zn-Y合金									
	組成 (原子%)			押出し温度 (℃)	押出し比	試験温度 (℃)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
	Mg	Zn	Y						
比較例 12	97	1	2	400	2.5	常温	273	325	0.5
比較例 13	96.5	1.5	2	350	10	常温	—	275	0.06
比較例 14	96	2	2	350	1	常温	80	104	1.5
比較例 15	97.5	0.5	2	325	10	常温	281	304	2.1
比較例 16	97.5	0.5	2	350	10	常温	—	240	0.045
比較例 17	97.5	0.5	2	375	10	常温	272	300	2.8
比較例 18	97.5	0.5	2	400	10	常温	278	329	8.2
比較例 19	95	4	1	400	10		260	325	9.8

* 押出し比 1 は 1 GPa でのホットプレス材を示す

【0146】

表 1～3 は、Zn と Y の添加量が異なる種々の Mg-Zn-Y 合金鑄造材を、表に示す押出し温度と押出し比で、押出し速度 2.5 mm/秒で押出し加工を行った後の室温における引張試験及び硬さ試験の結果を示している。

尚、表 2, 3 に示す押出し比 1 は、ホットプレスを意味しており、1 GPa の圧力を 60 秒間負荷したことを示しており、加工率は 0 である。

実施例 45 の組成を有するマグネシウム合金の鑄造材の結晶組織を図 11 に示す。

【0147】

(実施例 47～52 及び比較例 20～24 の鑄造合金の押出し後の特性)

表 4 に示す組成を有する 3 元系のマグネシウム合金の鑄造材を作製し、その鑄造材に表 4 に示す押出し温度及び押出し比で押出し加工を行った。この押出し加工後の押出し材を、表 4 に示す試験温度で引張試験により 0.2% 耐力 (降伏強度)、引張強さ、伸びを測

定した。また、押出し材の硬さ（ビッカース硬度）についても測定した。これらの測定結果を表4に示している。

【0148】

【表4】

Mg-Zn-X系合金									
	組成 (原子%)	押出し温度 (°C)	押出し比	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HV)	
実施例 47	Mg-1Zn-2Dy	350	10	常温	350	385	7.5	93	
実施例 48	Mg-1Zn-2Dy	400	10	常温	325	365	6.5	94	
実施例 49	Mg-1Zn-2Y(H.T)	350	10	常温	355	410	6	94	
実施例 50	Mg-1Zn-2Dy(H.T)	350	10	常温	350	385	4	96	
実施例 51	Mg-1Zn-2Er(H.T)	350	10	常温	355	380	3	90	
実施例 52	Mg-1Zn-2Ho(H.T)	350	10	常温	350	385	3	93	
比較例 20	Mg-1Zn-2La	350	10	常温	—	210	0	—	
比較例 21	Mg-1Zn-2La	400	10	常温	240	245	0.5	83	
比較例 22	Mg-1Zn-2Yb	350	10	常温	—	300	0	84	
比較例 23	Mg-1Zn-2Yb	400	10	常温	250	260	7	81	
比較例 24	Mg-1Zn-2Sm(H.T)	350	10	常温	—	350	0	95	

* (H.T) 500°C、10時間で鑄造材を熱処理した後で押出し加工したもの

【0149】

97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%RE鑄造材を種々の押出し温度で、押出し比10

、押出し速度 2.5 mm/秒で押出し加工を行った後の室温における引張試験及び硬さ試験の結果を示している。表中に (H. T) と表わしている合金は、押出し加工前に 500℃で 10 時間の均質化熱処理を施したことを示している。

【0150】

(実施例 53～69 の鋳造合金の押出し後の特性)

表 5 に示す組成を有する 4 元系のマグネシウム合金の鋳造材を作製し、その鋳造材に表 4 に示す押出し温度及び押出し比で押出し加工を行った。この押出し加工後の押出し材を、表 5 に示す試験温度で引張試験により 0.2 % 耐力 (降伏強度)、引張強さ、伸びを測定した。これらの測定結果を表 5 に示している。

【0151】

【表5】

Mg-Zn-Y-X系合金

	組成 (原子%)	押出し温度 (°C)	押出し比	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
実施例 53	Mg-1Zn-2Y-0.1La	350	10	常温	325	387	11
実施例 54	Mg-1Zn-2Y-0.3La	350	10	常温	362	407	5.3
実施例 55	Mg-1Zn-2Y-0.5La	350	10	常温	375	420	2.7
実施例 56	Mg-1Zn-2Y-0.7La	350	10	常温	371	422	11.7
実施例 57	Mg-1Zn-2Y-0.5Sm	350	10	常温	325	392	10.
実施例 58	Mg-1Zn-2Y-1.5Sm	350	10	常温	371	410	2.3
実施例 59	Mg-1Zn-2Y-0.5Nd	350	10	常温	328	393	11.2
実施例 60	Mg-1Zn-2Y-1.5Nd	350	10	常温	372	403	2.5
実施例 61	Mg-1Zn-2Y-0.5Yb	350	10	常温	360	413	8.1
実施例 62	Mg-1Zn-2Y-1.5Yb	350	10	常温	366	419	3.3
実施例 63	Mg-1Zn-2Y-2Yb	350	10	常温	368	430	1.3
実施例 64	Mg-1Zn-2Y-0.5Dy	350	10	常温	338	396	9.2
実施例 65	Mg-1Zn-2Y-2.5Dy	350	10	常温	348	415	2.6
実施例 66	Mg-1Zn-2Y-0.5Er	350	10	常温	317	382	11.1
実施例 67	Mg-1Zn-2Y-2.5Er	350	10	常温	303	388	5.6
実施例 68	Mg-1Zn-2Y-1Zr	350	10	常温	405	465	8.5
実施例 69	Mg-1Zn-2Y-1Zr	400	10	常温	425	471	8.5

【0152】

表5は、Mg-Zn-Y-X系合金の鋳造材を、種々の押出し温度で、押出し比10、押出し速度2.5mm/秒で押出し加工を行った後の室温における引張試験及び硬さ試験の結果を示している。

【0153】

(実施例70～91の鋳造合金の押出し後の特性)

表6及び7に示す組成を有するMg-Zn-Y合金のインゴットを高周波溶解炉を用いてArガス雰囲気中で溶製し、そのインゴットを切削することによってチップ形状の鋳造材を作る。次いで、チップ材を銅製の缶に充填した後で150℃で加熱真空脱ガスを行っ

て封止した。その後、缶に充填されたチップ材を缶ごと、表6及び7に示す押出し温度及び押出し比で押出し加工を行った。この押出し加工後の押出し材を、表6及び7に示す試験温度で引張試験により0.2%耐力(降伏強度)、引張強さ、伸びを測定した。また、押出し材の硬さ(ビッカース硬度)についても測定した。これらの測定結果を表6及び7に示している。

【0154】

【表6】

Mg-Zn-Y合金チップ	組成(原子%)			押出し温度 (°C)	押出し比	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HV)
	Mg	Zn	Y							
実施例 70	97.5	1	1.5	350	10	常温	450	483	1	113
実施例 71	97.5	1	1.5	400	10	常温	390	420	6	108
実施例 72	97	1	2	350	10	常温	442	464	5	105
実施例 73	97	1	2	400	10	常温	400	406	10	112
実施例 74	96.5	1	2.5	350	10	常温	373	401	13	105
実施例 75	96.5	1	2.5	400	10	常温	371	394	14	105
実施例 76	96	1	3	350	10	常温	400	424	6.5	115
実施例 77	96	1	3	400	10	常温	375	417	8	113
実施例 78	96	1	3	350	5	常温	440	452	0.5	122
実施例 79	96	1	3	350	15	常温	362	408	4.5	113
実施例 80	97.5	0.5	2	350	10	常温	332	355	10	
実施例 81	97.5	0.5	2	400	10	常温	330	360	11	103
実施例 82	96.5	1.5	2	350	10	常温	490	500	3	
実施例 83	96.5	1.5	2	400	10	常温	445	455	7	112
実施例 84	96	2	2	350	10	常温	497	500	4	114
実施例 85	96	2	2	400	10	常温	433	450	9	103
実施例 86	95.5	2.5	2	350	10	常温	440	463	2	112
実施例 87	95.5	2.5	2	400	10	常温	395	406	7	107

【0155】

【表 7】

Mg-Zn-Y合金チップ										
	組成 (原子%)			押出し温度 (℃)	押出し比	試験温度 (℃)	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (Hv)
	Mg	Zn	Y							
実施例 88	95	2	3	350	10	常温	450	485	4.5	118
実施例 89	95	2	3	400	10	常温	430	466	5	126
実施例 90	94.5	2.5	3	350	10	常温	441	518	2	136
実施例 91	94.5	2.5	3	400	10	常温	387	486	4	127

【0156】

表 6 及び 7 は、Zn と Y の添加量が異なる Mg-Zn-Y 合金の鋳造材を切削することによって作製したチップ材を種々の押出し温度と押出し比で、押出し速度 2.5 mm/秒で押出し固化した試料の室温における引張試験及び硬さ試験の結果を示している。

【0157】

尚、本発明は上述した実施の形態及び実施例に限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0158】

【図1】実施例1、比較例1及び比較例2それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図2】実施例2～4それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図3】実施例5～7それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図4】実施例8及び9それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図5】実施例10～12それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図6】比較例3～9それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図7】参考例の鑄造材の結晶組織を示す写真である。

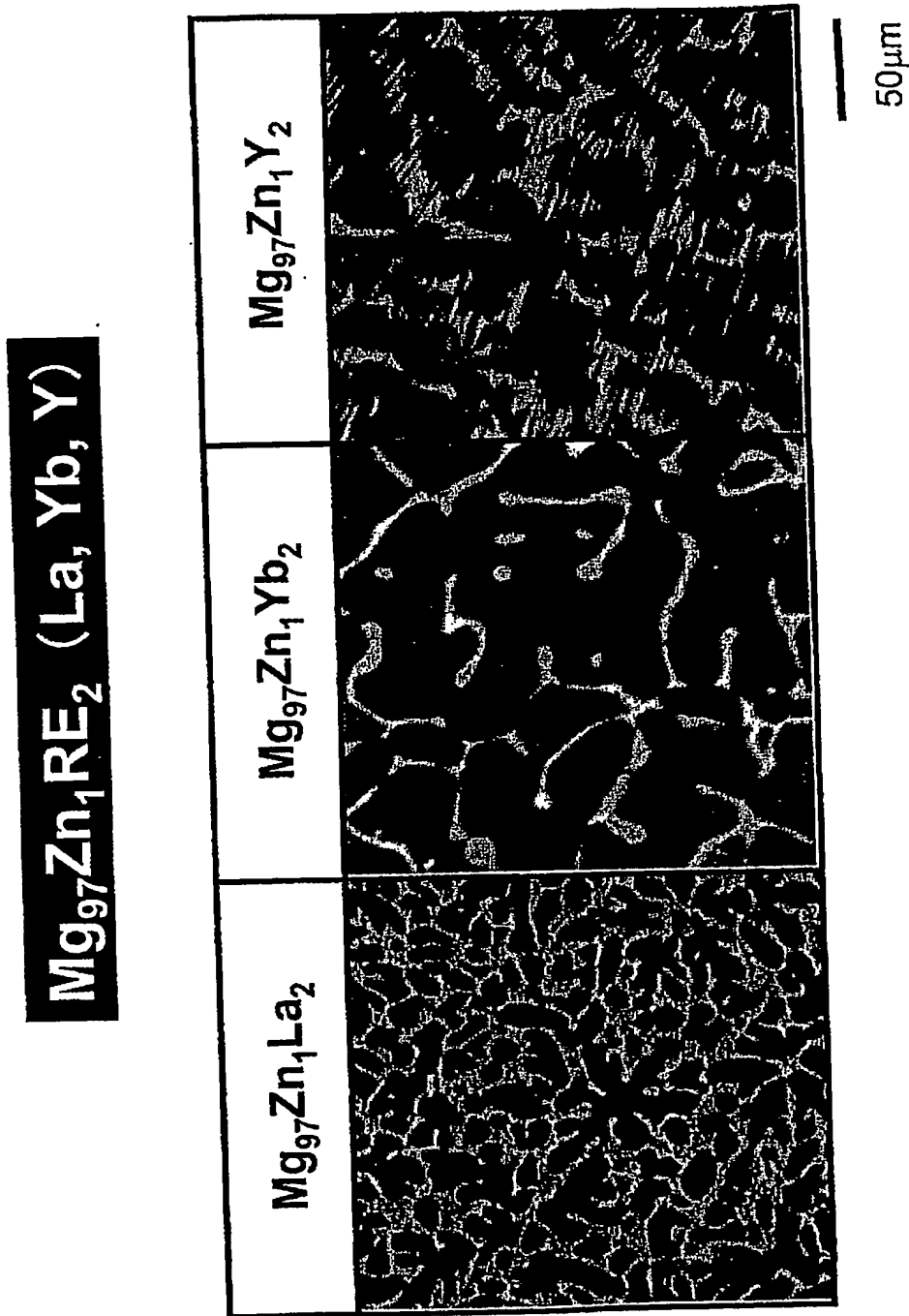
【図8】本発明の実施の形態1によるマグネシウム合金の組成範囲を示す図である。

【図9】本発明の実施の形態7によるマグネシウム合金の組成範囲を示す図である。

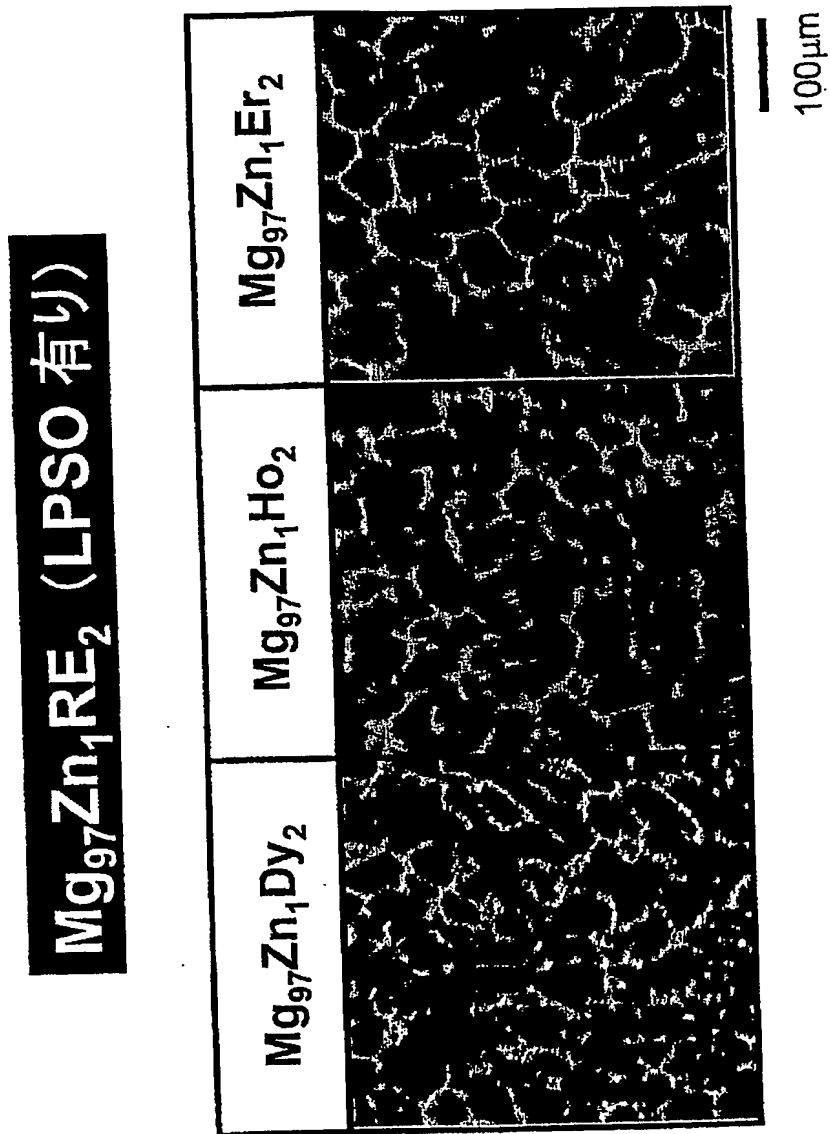
【図10】実施例13の鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図11】実施例45の鑄造材の結晶組織を示す写真である。

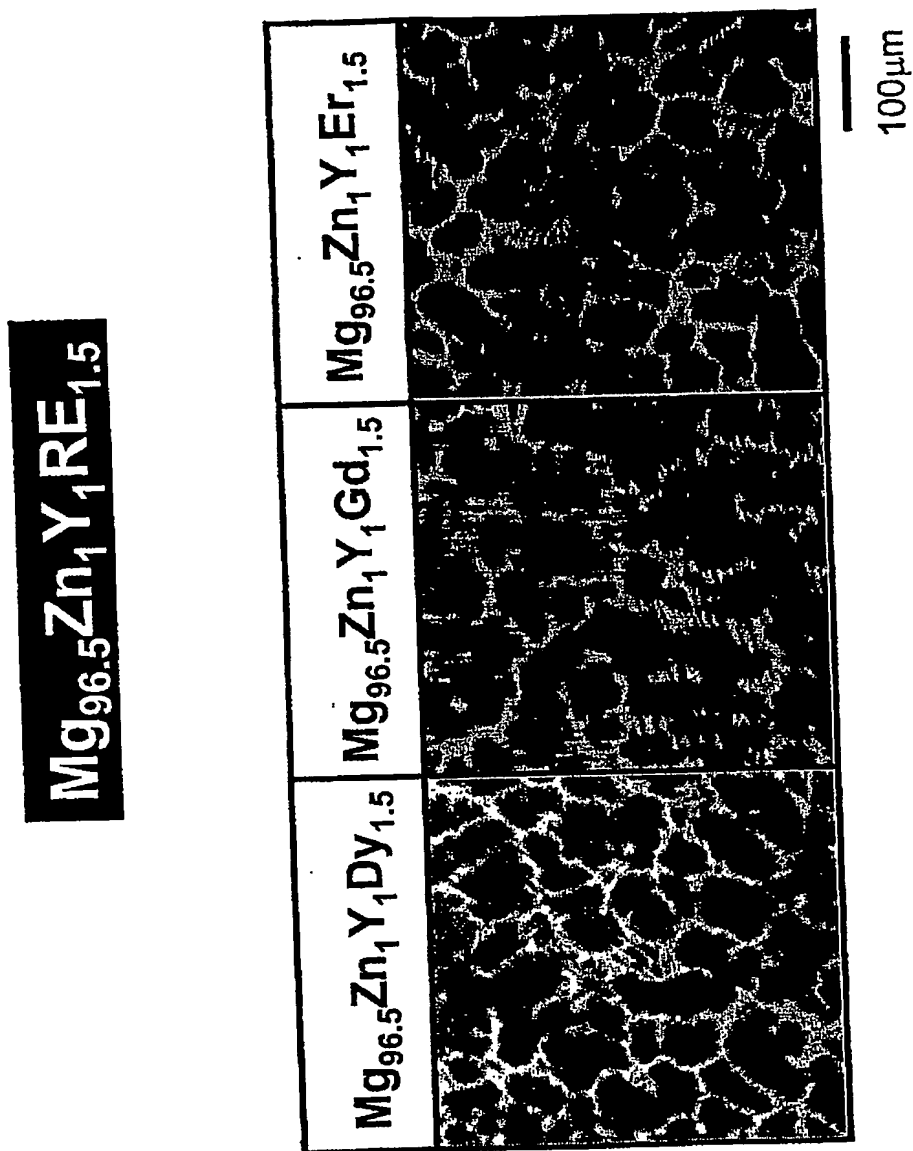
【書類名】 図面
【図 1】



【図 2】

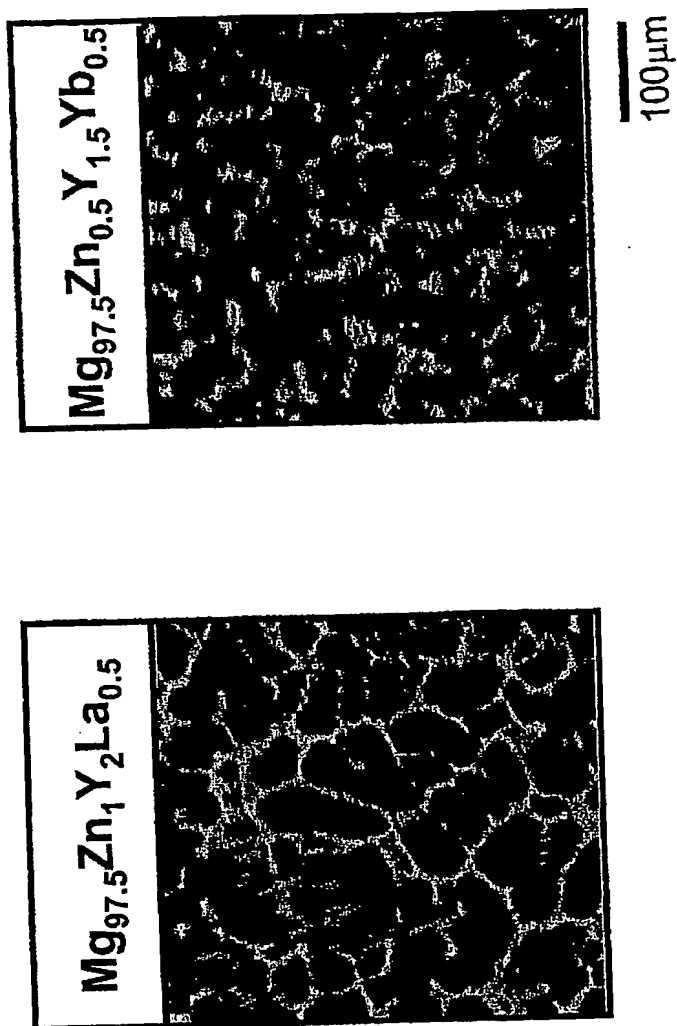


【図 3】



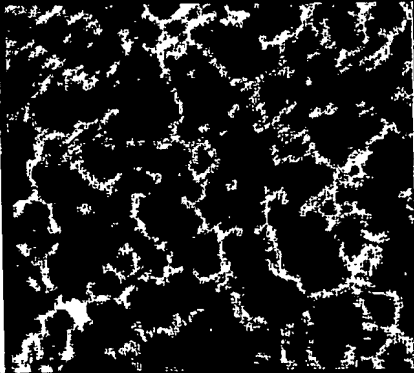
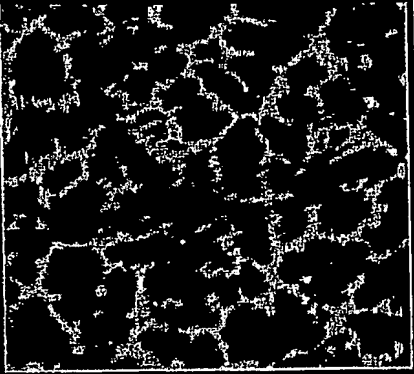
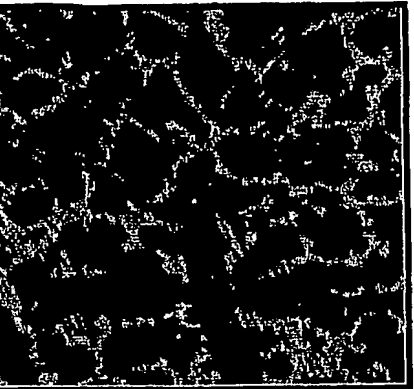
【図 4】

Mg-Zn-Y-RE(La, Yb)

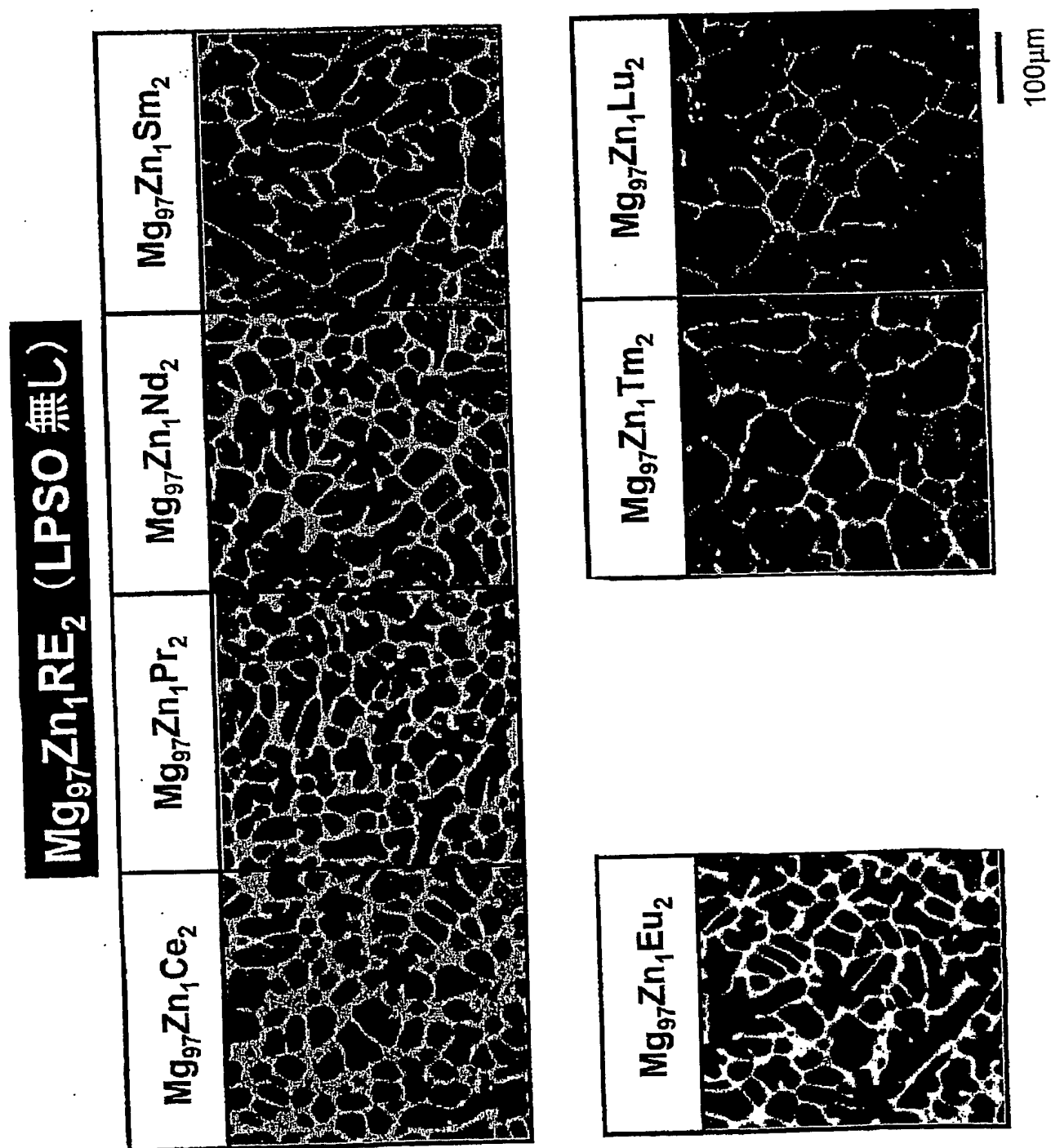


【図 5】



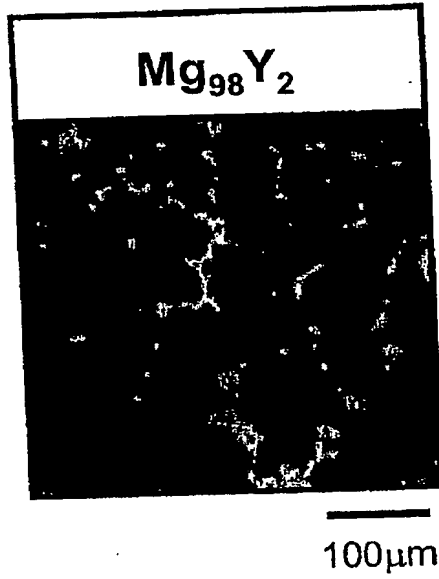
$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Dy}_1$	$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Gd}_1$	$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Er}_1$
		

【図 6】

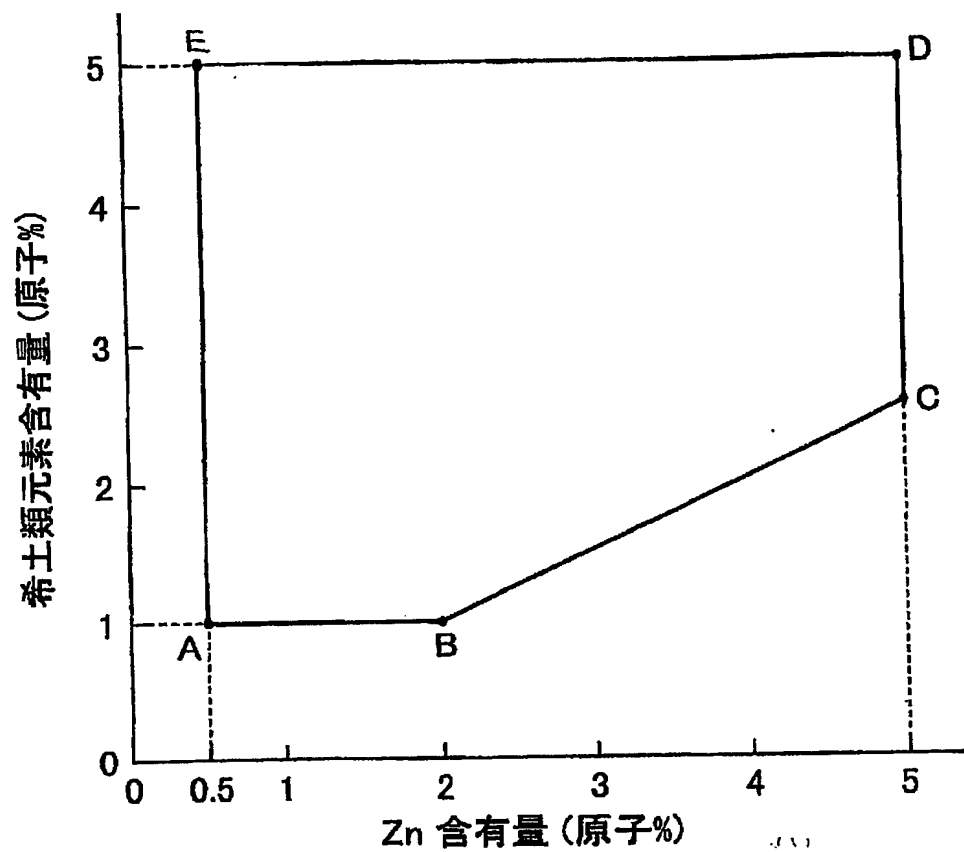


【図 7】

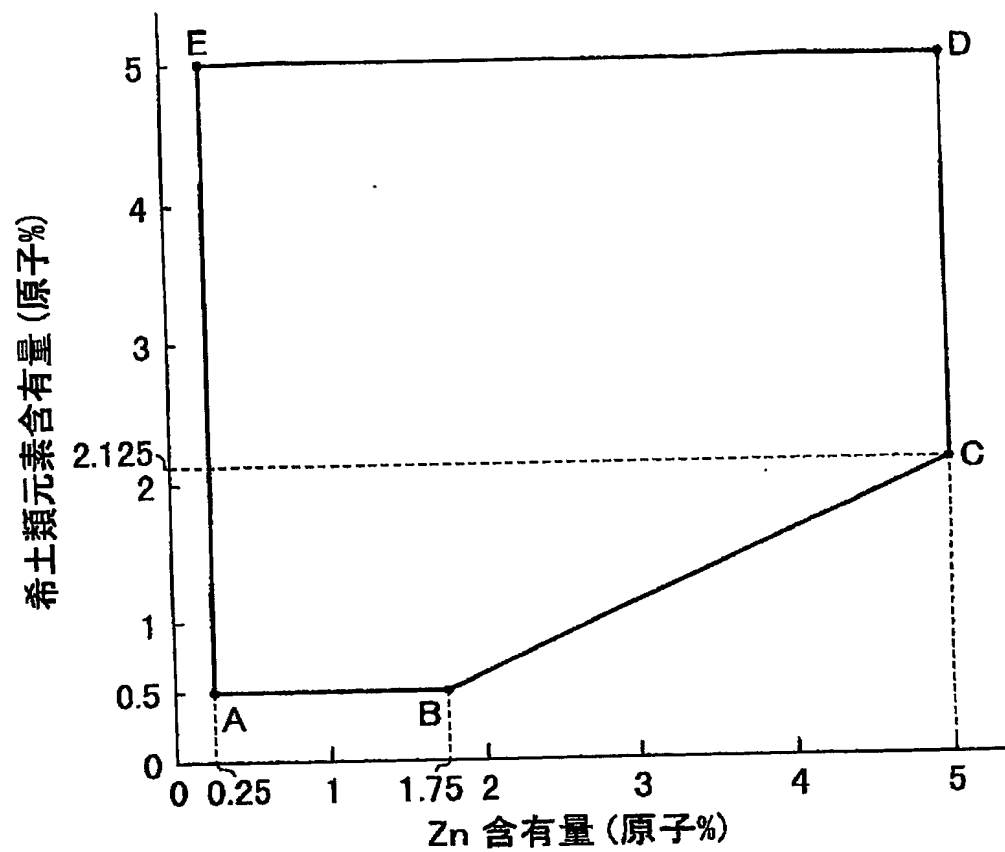
参考
(Mg-Y 2元系)



【図 8】

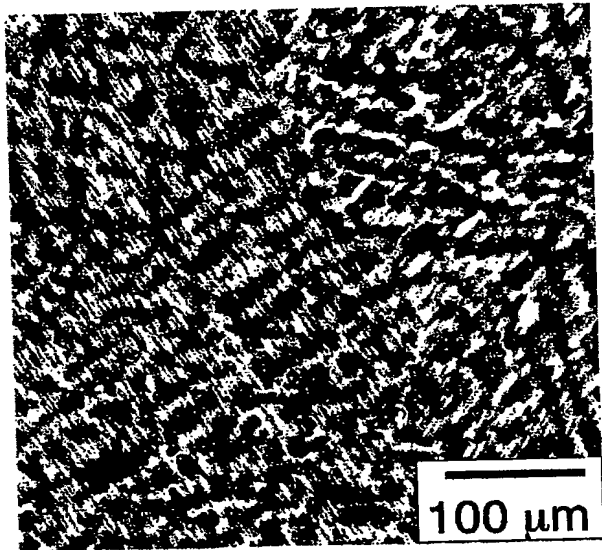


【図 9】



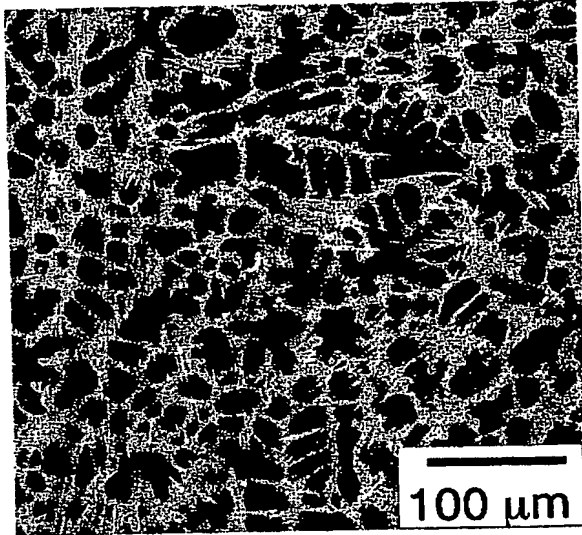
【図 10】

Mg₉₆Zn₁Y₃ as-cast



【図 11】

Mg_{93.5}Zn₃Y_{3.5} as-cast



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znをa原子%含有し、Y、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計でb原子%含有し、残部がMgから成り、aとbは下記式(1)～(3)を満たすものである。

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b$$

【選択図】 なし

特願 2004-096344

出願人履歴情報

識別番号

[502396281]

1. 変更年月日

2002年10月31日

[変更理由]

新規登録

住所

熊本県熊本市新南部2丁目7番A-3.02

氏名

河村 能人

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/017617

International filing date: 26 November 2004 (26.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-096344
Filing date: 29 March 2004 (29.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 27 January 2005 (27.01.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.